

## 59Y(d,p)90Y反応に於けるCoulomb Stripping

著者	山屋 堯
号	150
発行年	1968
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/23315">http://hdl.handle.net/10097/23315</a>

氏名・（本籍）	やま 屋 たかし 山 屋 堯
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 1 5 0 号
学位授与年月日	昭和 4 3 年 3 月 2 6 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院理学研究科 （博士課程）原子核理学専攻
学 位 論 文 題 目	$^{69}\text{Y}(\text{d}, \text{p})^{69}\text{Y}$ 反応に於ける Coulomb Stripping
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 森 田 右 教授 木 村 一 治 助教授 藤 平 力

## 論 文 目 次

第 一 章	序 論
第 二 章	実験と結果
第 三 章	解 析
第 四 章	結 語

## 論 文 内 容 要 旨

### 第一章 序 論

原子核の核構造を調べるのに stripping reaction mechanism はかなり重要な反応である。

この反応のうちで最っとも典型的な stripping reaction は ( d , p ) 反応である。ターゲット核と deuteron 内部の核子との相互作用を問題にするこの反応機構は ( d , p ) , ( d , n ) 等の反応において、角分布の形が定性的に Butler<sup>1)</sup> によって理論づけられた。彼は deuteron の入射エネルギーと proton 又は neutron の波動関数は平面波で取扱っている。その後 deuteron の入射波と proton の放出波、又は neutron の放出波は核力、又は Coulomb 力で歪められたことを考慮に入れた Distorted Wave Born Approximation ( DWBA ) による解析が行われ、核構造の研究に大きな貢献をしている。しかしこれらの ( d , p ) 反応においては入射エネルギー、又は放出エネルギーが Coulomb barrier よりも高いときの反応であり、必ずしも完全に実験値と一致しない。とくに、DWBA では、ポテンシャルの深さ、核半径、ポテンシャルの広がりをも定めるパラメーター等、入射波を決めるのに必要なパラメーターが数個必要である。又放出波についても同じであるため、これらのパラメーターによる不確定はまぬがれない。もし Coulomb barrier よりもかなり低い入射エネルギー、又は放出エネルギーでこの反応を考えると、これらの入射波、放出波は Coulomb 波で記述出来るために、パラメーターによる不確定性はとりのぞけることが期待出来る。

1951年、Ter-Martirosian<sup>2)</sup> はこのような Coulomb 波を用いた ( d , p ) 反応の理論を作った。この理論の特徴は deuteron と proton の入射波と放出波はそれぞれ完全に Coulomb 波である。又捕獲される neutron にもほとんど核力が働いていないとして状態函数を作る。すなわち、

$$-(\hbar^2/2M_n)\nabla^2\phi_n=E_n\phi_n$$

を満足するような波動函数である。ここで  $E_n$  は neutron の binding energy である。

又、Coulomb barrier 以下での ( d , p ) 反応は single particle states への proton groups が相対的に強く観測され、他の states への proton groups は相対的に弱く観測される。このためこれら single particle states の性質を調べるのに都合がよい。

### 第二章 実験と結果

実験は、東北大 5 MeV Van de Graaff 加速器を用い、ターゲットは  $^{89}\text{Y}$  の薄膜を用いた。厚さは  $\sim 150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  である。

又、検出器は半導体検出器 (  $700 \mu$  ) と Broad Range Magnetic Spectrograph を用いた。magnet によってエネルギー的に分解された proton group は  $100 \mu$  の原子核乾板を用いて検出し、その飛跡を顕微鏡で数えた。半導体検出器の場合、分解能は  $1 \sim 2 \%$ 、Broad Range Magnetic Spectrograph を用いた場合は、 $0.2 \%$  位である。又、この反応は入射エネルギーが低いいため、反応断面積は小さく、 $10^{-29} \sim 10^{-30} \text{ cm}^2$  位で、ターゲットの中に含まれている軽い原子核による不

純物が $\sim 0.1\%$ 位含んでも実験が困難となる。そこで、我々は特別なターゲット作成法<sup>23)</sup>を考え、水に溶けない物質なら、ターゲット作成中にC, H, O以外の不純物を含まない薄膜を作ることと成功した。観測された $^{90}\text{Y}$ への proton group は約20で、一番高い excited state は  $3.142\text{ MeV}$  への proton group であった。

角分布も約20測定され、 $\theta = 10^\circ \sim 168^\circ$  の間  $10^\circ$  間隔で観測されている。又 excitation function は  $E_d = 3.0 \sim 4.2\text{ MeV}$  まで  $50\text{ KeV interval}$  で、半導体検出器で観測した。検出器は  $\theta = 150^\circ, 120^\circ, 90^\circ$  での3つが設置された。excitation function は  $E_d = 3.70 \sim 3.75\text{ MeV}$  附近のところで、ground state への proton group ( $\theta = 120^\circ$ ) と、 $1.965\text{ MeV}$  state への proton group ( $\theta = 150^\circ$ ) が resonance like なふるまいを示している。この resonance は  $^{91}\text{Zr}$  の resonance である。又、absolute cross section の測定が行われ、測定誤差は  $10\%$  以内で測定された。

### 第三章 解 析

約12ヶの角分布がDWBAで解析され、Spectroscopic factor が求められた。このときの核力の form factor は Woods-Saxon type を用いた。又入射波は核力を入れて計算した波と、核力を0にして計算した波、すなわち、Coulomb 波とを両方使用した場合、それぞれ別々に Spectroscopic factor と角分布を計算した。又、 $^{90}\text{Y}$  の excited state  $2.479\text{ MeV}$ ,  $2.628\text{ MeV}$ ,  $2.853\text{ MeV}$ ,  $3.002\text{ MeV}$ ,  $3.142\text{ MeV}$  に関しては、放出波もCoulomb 波とした場合について計算した。計算はDWBA 2 のプログラムを用い、HITAC 5020 E で計算された。角分布の pattern はいずれの level に於いてもかなりの相異点があったが、実験値とは大体一致した。又、Spectroscopic factor についてはいずれの場合も、 $10\%$  以内で計算値が互いに一致を見せた。

上記の  $2.479\text{ MeV}$  以上の  $^{90}\text{Y}$  の excited state への proton group の角分布を Ter-Martirosian の理論で計算し、角分布を実験値と比較すると、pattern だけはDWBA による解析よりもよく一致した。しかし反応断面積については、Coulomb-parameter  $\alpha_d = 4.658$ ,  $\alpha_p = 2.8$  に於ける反応に対しても数倍の相異があった。〔 $^{89}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$  反応に於いてターゲットと proton の間のCoulomb barrier は大体  $7.00\text{ MeV}$  である。〕

次にCoulomb barrier 以下での  $^{89}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$  反応で、相対的に強く観測される proton groups の state は single particle state と考えられる。又これらの odd-parity state の doublets は、 $(2P_{\frac{1}{2}})$  shell に入っている proton と neutron shell の coupling によって doublets を構成していると見られる。これは odd-odd 核特有のものであり、 $^{90}\text{Y}$  の場合は、

$$\begin{array}{ll} \left. \begin{array}{l} \text{ground state} \\ 0.203\text{ MeV} \end{array} \right\} & (2P_{\frac{1}{2}})_p (2d_{\frac{5}{2}})_n \\ \left. \begin{array}{l} 1.214\text{ MeV} \\ 1.374\text{ MeV} \end{array} \right\} & (2P_{\frac{1}{2}})_p (3s_{\frac{1}{2}})_n \\ \left. \begin{array}{l} 2.476\text{ MeV} \\ 2.628\text{ MeV} \end{array} \right\} & (2P_{\frac{1}{2}})_p (2d_{\frac{3}{2}})_n \end{array}$$

で, 2.938 MeV, 3.002 MeV, 3.053 MeVのうちの2つが  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (1 g_{\frac{7}{2}})_n$  による doublets を構成している筈であるが, 今までの  $^{89}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$  反応では  $1 g_{\frac{7}{2}}$  shell への neutron capture を示す doublets がどれであるかは決まっていない。

我々は観測された3つの level について  $(2 J_i + 1)$  rule と Spectroscopic factor から  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (1 g_{\frac{7}{2}})_n$  の doublet は 2.938 MeV と 3.053 MeV level である結論に達した。

次に今まで  $^{89}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$  反応では観測出来なかった  $^{90}\text{Y}$  の low lying level にある  $2^+$  state について議論する。この state は proton shell が  $1 g_{\frac{9}{2}}$ , neutron shell が  $2 d_{\frac{5}{2}}$  の coupling であり,  $2^+$ ,  $3^+$ ,  $4^+$ ,  $5^+$ ,  $6^+$ ,  $7^+$  の state が各々観測される筈であるが, 今までの  $(d, p)$  以外の反応で観測された state は  $^{90}\text{Y}$  において 0.780 MeV での  $2^+$  と 0.680 MeV での  $7^+$  state だけである。E・W・Hamburger and A・I・Hamburger<sup>4)</sup> の  $E_d = 15$  MeV での  $^{89}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$  の実験に於いては,  $2^+$  state も  $7^+$  state も観測されていない。彼らは, もしあったとしても  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (2 d_{\frac{5}{2}})_n$  状態への cross section に対して  $1/250$  位であろうとしている。又, Watson, Moore and Sheline<sup>5)</sup> は  $E_d = 12$  MeV で同じ実験をしているが, やはり  $2^+$  も  $7^+$  も観測出来ず, もしあったとしても  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (2 d_{\frac{5}{2}})_n$  への proton group に対して  $1/1000$  としている。

我々の実験に於いては  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (2 d_{\frac{5}{2}})_n$  state への proton group に対して約 1.5 % の  $2^+$  state への proton group が観測された。これは  $^{89}\text{Y}$  の ground state が  $(1 g_{\frac{9}{2}})_p (2 d_{\frac{5}{2}})_n$  の configuration が 1.5 % であるということにはならない。なんとすればもし,  $^{89}\text{Y}$  の ground state の configuration であれば, Hamburger らや, Watson らの  $(d, p)$  反応でも観測出来た筈である。したがってこれは  $^{89}\text{Y}$  の  $(2 P_{\frac{1}{2}})$  shell に入っている proton が  $(1 g_{\frac{9}{2}})$  shell へ励起されたものと見る方が正しい。

#### 第四章 結 語

入射波と放出波を Coulomb 波として扱うためには, Coulomb parameter を基準にして考えると  $\alpha_a \sim 4$  でよいが, 現在この実験で放出 proton の Coulomb parameter は  $E_d = 3.3$  MeV のときの  $^{90}\text{Y}$  の 3.142 MeV state への proton group の  $\alpha_p$  が大体 2.8 である。これでは充分とは言えないが, 少なくとも  $\alpha_p \sim 2.7$  以下では問題にならない。

single particle state に於いて, 2.938 MeV と 3.053 MeV が  $^{90}\text{Y}$  の  $(2 P_{\frac{1}{2}})_p (1 g_{\frac{7}{2}})_n$  の doublet であると結論が出たが, 3.002 MeV については何んとも言えない。さらに  $E_d = 3.00$  MeV か  $E_d = 3.50$  MeV で角分布をとり, より Coulomb 波に近づいて  $(d, p)$  反応を観測し, これらの level の Spectroscopic factor を求めたら, よりよい information が得られると思う。又, low lying level での even parity state である 0.780 MeV の  $2^+$  state は, もし角分布がとればくわしい reaction mechanism もわかるのであろうが, 今の段階ではターゲット内の不純物のために不可能であろうと思われる。

しかし, Coulomb barrier 以下での ( d , p ) 反応でこの level が観測出来た事は非常に興味ある。

#### 参 考 文 献

- 1 ] S. T. Butler, Proc. Roy. Soc ( London ) 208A 559 ( 1951 )
- 2 ] K. A. Ter-Martirosian, JETP 29 713 ( 1955 )
- 3 ] T. Yamaya, T. Tohei and S. Morita, Nuclear Instrument and Methods  
49 173 ( 1967 )
- 4 ] E. W. Hambuger and A. I. Hamburger, Nuclear Physics 68 ( 1965 )
- 5 ] C. Watson, C. F. Moore and R. K. Sheline, Nuclear Physics 54 519 ( 1964 )

## 論文審査結果の要旨

原子核の(d, p)反応において、入射重陽子と放出陽子のエネルギーがクーロン障壁よりも十分に低い場合には、これらの粒子を純粹のクーロン波で記述でき、理論的に正確な計算が行われている。しかるに反応断面積が極めて小さいために実験的測定が困難であり、今まで信頼できる実験は極めて少ない。本論文は実験技術の改良を行って、この実験の精度を上げ、理論との比較を行うのが目的である。

まず、バンデグラフ装置を用いて、 $E_d=4.0\text{MeV}$ で $^{90}\text{Y}(d, p)^{90}\text{Y}$ 反応で放出される陽子のエネルギースペクトルを、広域反応粒子分析用電磁石と原子核乾板を用いて分析した。この際、従来のTeepoleを用いるターゲット製造法では不純物のため測定が不可能になるので、新しく葡萄糖を用いた真空蒸着法で極めて高純度のターゲット試料を製作する方法を開発した。また散乱槽と半導体計数器を用いて、 $E_d=3.25\text{--}4.20\text{MeV}$ で励起曲線を測定した。えられた陽子のエネルギースペクトルから角分布を求め、その中の17ヶの陽子グループについて解析を行った。先ず、通常のDWBA法の計算値と合せ、次に入射重陽子だけを純粹のクーロン波とした計算値と比較した。さらに反応のQ-値の小さい陽子グループ程、Coulomb strippingによる計算値とよく一致することを見出した。そして次の3つの新しい知見をえた。

1. クーロン・パラメーター $\alpha_d$ ,  $\alpha_p$ が、それぞれ4.8, 2.8ぐらいでは、重陽子と陽子はかなりよくクーロン波で近似することができ、純粹のCoulomb stripping理論と比べるには、クーロン・パラメーターの値が、これらの値より大きい領域で実験することが望ましい。
2. 残留核 $^{90}\text{Y}$ の励起状態2.938, 3.002, 3.053 MeVレベルの中のどれか2つが、configuration  $(p\ 1/2)^1_p$ ,  $(g\ 7/2)^1_n$ によるdoublet stateである。
3. 今までの高い入射エネルギーでの実験では、 $^{90}\text{Y}$ の低いレベル中にeven parity stateは全く観測されていなかったのに対し、本研究では0.780 MeVレベルが、基底状態へのグループに比べて、約1.6%の強度で観測された。このレベルはconfiguration  $(g\ 9/2)^1(d\ 5/2)^1$ のeven parity stateと考えられるため、この核反応機構に関して新しい問題を提起するものである。

このように本論文は実験技術としても新しい分野を開拓し、その結果、従来の研究より一段と精度を上げ新しい知見をえたものであり、博士の学位論文として適当であると認める。

よって山屋堯提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。